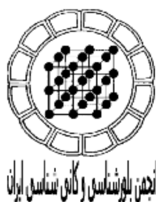
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و چهارم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۵، از صفحهٔ ۶۰۵ تا ۶۱۸



بکارگیری ژئوشیمی آمفیبول‌ها در بررسی شکل گیری تکتونو- متامورفیک همبافت دگرگونی ده‌سلم، شرق ایران

ساسان باقری[۱*]، حبیب بیابانگرد[۱]، افسانه ناصری اسفندقه[۱]، اعظم زاهدی[۱]، کازیو ناکاشیما[۲]

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشکده علوم، دانشگاه یاماگاتای ژاپن

(دریافت مقاله: ۹۴/۷/۲۹، نسخه نهایی: ۹۴/۱۲/۲۳)

چکیده: بررسی سنگ‌های فرومنیزین از جمله متاپریدوتیت‌ها و متابازیت‌ها و انواع کلسیم‌دار مثل کالک‌سیلیکات‌ها در بخش‌های مختلف همبافت دگرگون ده‌سلم در شرق ایران منجر به شناسایی تشکیل دوگانه‌ی سنگ های آمفیبول‌دار مختلفی شده‌است. بررسیهای دقیق‌تر این مجموعه‌ها با به روش ریزپردازش الکترونی، آمفیبول‌هایی با ترکیب‌های مختلف و شرایط فیزیکی پایدار متنوع را آشکار ساخته‌است. مهم‌ترین آمفیبول‌های سازنده‌ی متاپریدوتیت‌ها را می‌توان به انواع منیزیم‌دار شامل آنتوفیلیت و انواع کلسیم‌دار شامل هورنبلند ترمولیتی، هورنبلند منیزیم‌دار و ترمولیت اشاره نمود. در حالی که مهم‌ترین آمفیبول‌های سازنده‌ی متابازیت، از جمله در سنگهای آمفیبولیت عبارتند از پارگازیت و چرماکیت. این تفاوت در ترکیب شیمیایی کانی آمفیبول می‌تواند ناشی از نقش دو عامل شیمیایی سنگ مادر و شرایط فیزیکی دگرگونی باشد. به روش دما- فشار سنجی کانی آمفیبول، میانگین دما و فشار به دست آمده برای متابازیت‌های گلوگاه را به ترتیب برابر با ۵۲۷/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۶/۲۴ کیلوبار و برای متابازیت‌های ده‌سلم ۷۰۷/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۵/۸۶ کیلوبار نشان داد. شرایط مذکورخاطرنشان می‌سازد که بخش شرقی کمپلکس ده‌سلم که در تماس مستقیم با نفوذی‌های اسیدی و پهنه‌های میگماتیت‌زایی ژوراسیک فوقانی بوده، بالا آمدگی بیشتری نسبت به بخش‌های سردتر غربی داشته است. این بالا آمدگی ممکن است به سبب صعود پلوتون عظیم شاه‌کوه و فعالیت مرتبط گسل‌های شمالی-جنوبی منطقه مثل گسل کهور باشد.

واژه‌های کلیدی: *متاپریدوتیت و متابازیت‌های ده‌سلم و گلوگاه؛ ژئوشیمی آمفیبول‌ها؛ دما-فشارسنجیغ بلوک لوت.*

مقدمه

دگرگونی همبافت ده‌سلم با راستای شمالی-جنوبی در بخش شرقی بلوک لوت به شکل یک نوار دگرگون طویل روی نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه رخنمون دارد [۲،۱]. از نظر جغرافیایی، منطقه‌ی مورد بررسی در جنوب استان خراسان جنوبی و غرب شهرستان نهبندان قرار دارد (شکل ۱).

بر اساس جدیدترین سال سنجی‌ها، همبافت دگرگون ده‌سلم با سن ژوراسیک میانی [۳، ۴] در منطقه‌ی برشی کهور بخش غربی منطقه برشی نهبندان قرار دارد [۵]. به عقیده‌ی [۶] سنگ‌های مادر این مجموعه شامل ماسه‌سنگ، رسوب‌های کربناتی، سنگ‌های آتشفشانی، رسوب‌های شیلی حاوی میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و مارن است. مهم‌ترین سنگ‌های دگرگون همبافت ده سلم عبارتند از اسلیت، فیلیت، شیست، مرمر،گنیس، آمفیبولیت و میگماتیت [۶-۹]. سنگ‌های شبه‌بازی و شبه‌پریدوتیت [۱۰] در دنباله‌ی با ضخامت زیادی از مرمرها و نیز عدسی‌های میگماتیت در بخش شرقی همبافت دگرگون ده‌سلم و نیز شبه‌بازی‌های تاقدیس گلوگاه در غرب این مجموعه‌ی دگرگونی، بخش دیگری از این رخنمون را تشکیل می‌دهند.سنگ‌های مافیک و اولترامافیک دگرگون شده در مجموعه‌های دگرگون ده‌سلم در دو گستره به صورت دو کمربند قوسی‌شکل، تقریباً از میان واحدهای دگرگون ده‌سلم با راستای شمال غربی – جنوب شرقی عبور می‌کنند. این

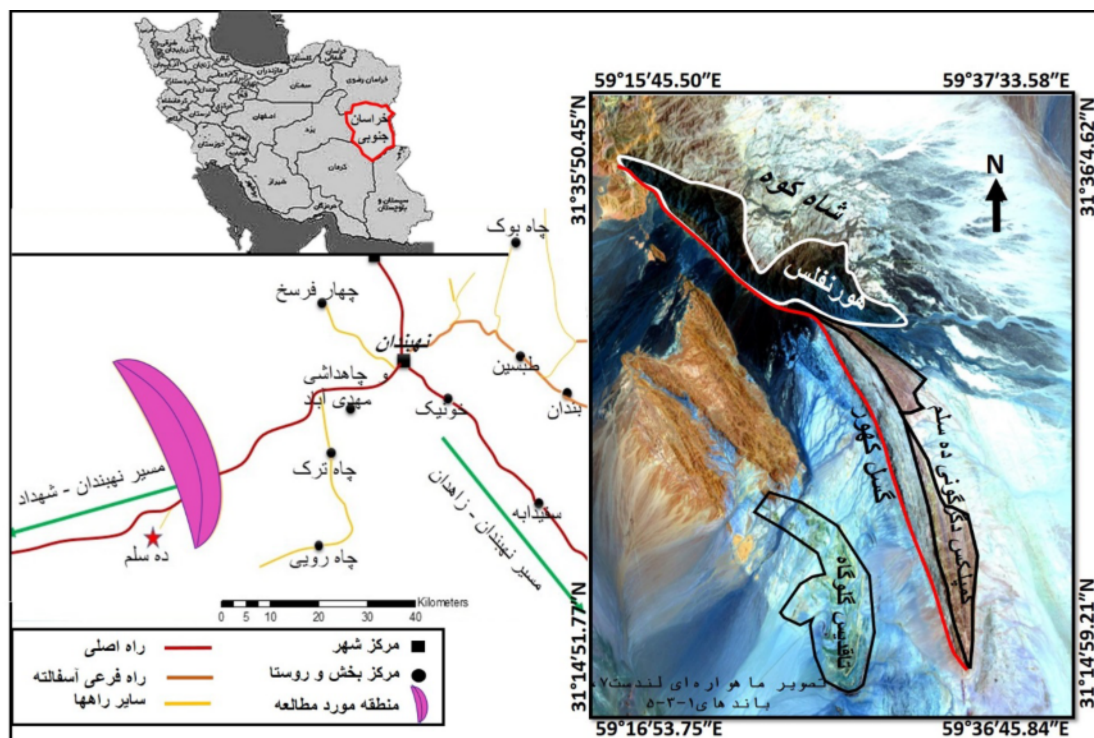
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۲۱۳۸۶۱۴، پست الکترونیکی: sasan@hamoon.usb.ac.ir

مجموعه‌ها نیز به صورت پراکنده در واحدهای دگرگونی اطراف کمربندهای یاد شده و نیز در گستره‌ی گلوگاه وجود دارند (شکل ۲ و ۳).

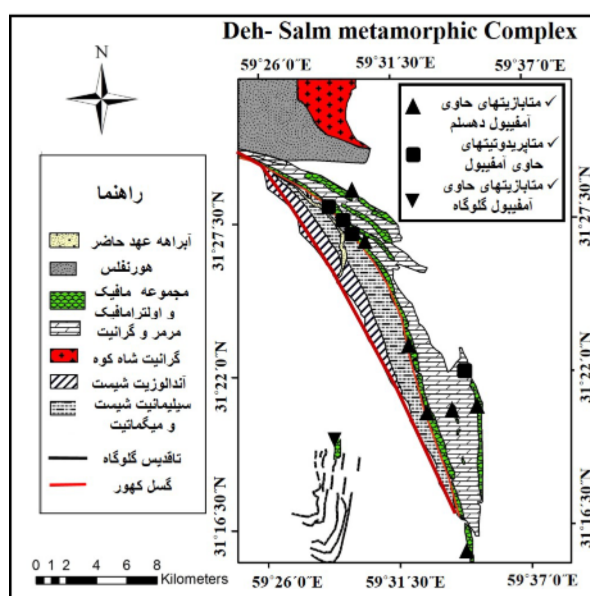
در بررسی‌های سنگ شناسی و کانی شناسی سنگ‌های شبه‌پریدوتیت و شبه‌بازی‌های همبافت دگرگون ده‌سلم [۱۱] و به دنبال آن بررسی‌های ریز پردازش الکترونی، کانی آمفیبول در سنگ‌های شبه‌پریدوتیت و شبه‌بازی به ویژه آمفیبولیت‌ها (بیشترین حجم بین سنگ‌های مافیک و فرامافیک منطقه) در انواع متفاوتی شناسایی شده‌اند. تنوع ترکیب شیمیایی و ساختار آمفیبول‌ها سبب شده است که این کانی‌ها در شرایط مختلف دما و فشار در سنگ‌های آذرین و دگرگون ایجاد شوند [۱۲]. استفاده از ترکیب کانی آمفیبول یکی از متداول‌ترین روش‌ها در سنگ‌های شبه‌بازی برای بررسی‌های فشارسنجی و دماسنجی است. به منظور شناسایی شرایط ترمودینامیکی حاکم بر تشکیل آمفیبولیت‌ها از دما-فشار سنجهای مبتنی بر ترکیب آمفیبول استفاده بسیاری شد [۱۳-۱۵]. در ترکیب کانی آمفیبول، تمرکز و غلظت عناصر مختلف موجود در جایگاه‌های گوناگون بلورشناسی تابع عوامل مختلف دما، فشار و گریزندگی اکسیژن است [۱۶]. آمفیبول‌ها در گستره‌ی وسیعی از فشار – دما، از ۱ تا ۲۳ کیلوبار و ۴۰۰ تا ۸۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد پایدار هستند [۱۷]. کارهای تجربی [۱۸] نیز نشان داده که آمفیبول‌ها در حدود ۸۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ناپایدار می‌شوند. بنابراین با توجه به مقادیر این عناصر می‌توان تا حدی به شرایط دما- فشار تشکیل این کانی در طی دگرگونی و تا حدی تعیین دما و فشار در سنگ‌های شبه‌بازی مورد بررسی پی برد.

روش بررسی

پس از تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی و بررسی‌های سنگ شناسی، به منظور تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌ها و محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن‌ها، ۶ نمونه‌ی سنگی برای تجزیه شیمیایی، با استفاده از روش ریزپردازش الکترونی، به کشور ژاپن ارسال شدند. سپس عناصر اصلی توسط ابرکاوشگر خودکار مدل JEOL JXA-8600M با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۵KV و جریان پرتوی $Amp2\times10^{-8}$ در بخش علوم زمین و محیط زیست دانشگاه یاماگاتا ژاپن تجزیه شدند. نمونه‌های انتخاب شده برای تجزیه شامل ۴ نمونه شبه‌پریدوتیت و ۲ نمونه شبه بازی از سه گستره‌ی کمربند دگرگون ده سلم به نام های کمربند سبز شرقی، کمربند سبز مرکزی و شبه بازی های گلوگاه بوده‌اند. سپس با استفاده از نتایج بدست آمده اقدام به محاسبه‌ی فرمول ساختاری کانی‌های یاد شده شد.



شکل ۱ موقعیت شهرستان نهبندان در استان خراسان جنوبی، مسیرهای دسترسی و موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی روی تصویر ماهواره‌ای.



شکل۲ گستره‌های نمونه‌برداری شده، شامل شبه‌پریدوتیت و شبه‌بازیت‌های حاوی کانی آمفیبول.



شکل۳ تصاویر صحرایی؛ الف)مافیک و ب)اولترامافیک دگرگون شده ده‌سلم.

بحث و بررسی

سنگ شناسی

اغلب سنگ‌های دگرگونی در نتیجه عملکرد فرایندهای تکتونیکی بزرگ مقیاس در پوسته و تغییرات دما و فشار در حجم معین از سنگ‌ها تشکیل می‌شوند. دگرگونی با انجام واکنش‌هایی همراه است که می‌توانند کانی‌ها و مجموعه‌های کانی شناسی موجود در مواد اولیه را توسط گروه‌هایی از کانی-های جدید جایگزین نماید [۱۹]. سنگ‌های متابازیت نتیجه دگرگونی سنگ‌های مافیک از جمله بازالت‌ها، دلریت‌ها، گابروها، آندزیت‌های بازالتی و گری‌وک‌ها هستند [۲۰]. براساس بررسی‌های کانی‌شناسی انجام گرفته بر روی سنگ‌های مافیک و اولترامافیک در منطقه‌ی مورد بررسی سنگ‌های شیست سبز، میکاشیست، شیست آهکی، شیست آمفیبولی، اپیدوت آمفیبولی، گارنت اپیدوت آمفیبولی، پیروکسن آمفیبولی، شبه‌بازی و هورنبلند بیوتیت دیوریت به عنوان متابازی و سنگ‌های شبه‌پریدوتیت تالک‌دار، شبه‌پریدوتیت اسپینل‌دار و سرپانتینیت‌ها به عنوان شبه‌پریدوتیت شناسایی شده‌اند [۱۰]. کانی آمفیبول در تمام این سنگ‌ها در انواع مختلف و از درجات پایین دگرگونی تا درجات بالای دگرگونی قابل تشخیص بودند. مهم‌ترین آمفیبول‌های شناخته شده شامل هورنبلند سبز، هورنبلند قهوه‌ای و هورنبلند سبز- آبی در شبه-بازی‌ها و آمفیبول‌های بی‌رنگ در شبه‌پریدوتیت‌ها هستند. کانی آمفیبول هم به صورت شکل دار (منشوری) و هم به صورت بی-شکل و به صورت جهت یافته و بدون جهت‌یافتگی در سنگ-های منطقه مشاهده شدند. از جمله کانی‌های همراه با آمفیبول، پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و نیز کانی‌های فرعی اپیدوت، گارنت، اسفن، پیروکسن، زوئیزیت، کلریت و کانی‌های کدر در سنگ‌های شبه‌بازی و کانی‌های الیوین. پیروکسن (شامل هر دو گروه، بقایای کانی‌های اولیه سنگ‌های پریدوتیتی و پیروکسن‌های با ترکیب دیوپسیدی شکل گرفته هنگام

دگرگونی)، تالک، سرپانتین، کلریت و کلسیت در سنگ‌های شبه‌پریدوتیت بوده‌اند.

شیمی کانی‌های آمفیبول

در رده‌بندی انجمن بین‌المللی کانی‌شناسی (International Mineralogical Association = IMA)، آمفیبول‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی به آمفیبول‌های دارای Li-Mn-Fe-Mg، آمفیبول‌های Caدار، آمفیبول‌های Na-Ca و آمفیبول‌های Naدار تقسیم شده‌اند [۲۱]. آمفیبول‌های گروه اول بر اساس چگونگی تبلورشان به دو گروه راست لوزی و تک میل تقسیم می‌شوند. آمفیبول‌های سدی-کلسیک و آمفیبول-های سدیک در سیستم تک میل متبلور می‌شوند.

آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌ها

۱۰ نقطه از بلورهای آمفیبول موجود در چهار سنگ شبه-پریدوتیت منطقه مورد بررسی ریز پردازشی الکترونی قرار گرفتند که نتایج آنها در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول۱ بررسی ریز پردازش الکترونی آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌های ده سلم بر حسب درصد وزنی (wt%) و فرمول ساختاری آنها.

سنگ شناسی	کانی آمفیبول در متاپریدوتیت									
نمونه	۱۲HB	۱۲HB	۱۲HB	۱۴-۱HB	*۱۴-۱HB*	۱۴-۱HB	N۱-۸	N۱-۸	D۲-۷	D۲-۷
آنالیز	۷	۸	۱۳	۵	۶	۷	۱۶	۲۰	۲۰	۲۱
SiO_2	۵۶٫۴۳	۵۵٫۹۳	۵۶٫۶۵	۵۷٫۰۳	۵۶٫۷۷	۵۶٫۵۹	۵۶٫۷۹	۵۸٫۷۶	۵۲٫۰۴	۵۰٫۳۵
TiO_2	۰٫۱۱	۰٫۴۷	۰٫۱۸	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۸	۰٫۰۴	۰٫۷۷	۱٫۱۸
Al_2O_3	۲٫۴۰	۶٫۰۹	۲٫۴۹	۱٫۱۴	۱٫۱۴	۱٫۱۴	۳٫۰۶	۰٫۹۴	۷٫۶۸	۹٫۸۴
Cr_2O_3	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰
FeO	۷٫۲۵	۴٫۱۳	۴٫۳۴	۱۱٫۹۳	۱۱٫۹۳	۱۱٫۷۴	۴٫۷۲	۴٫۱۸	۲٫۵۵	۲٫۵۵
MnO	۰٫۲۹	۰٫۱۴	۰٫۱۹	۰٫۲۱	۰٫۲۱	۰٫۲۷	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۶
MgO	۲۳٫۵۲	۱۹٫۷۵	۲۱٫۵۸	۳۱٫۴۳	۳۱٫۴۳	۳۱٫۴۸	۲۱٫۹۳	۲۳	۲۱٫۰۵	۲۰٫۳
CaO	۱۰٫۲۶	۱۱٫۹۱	۱۲٫۷۰	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۱۲٫۱۹	۱۲٫۳۸	۱۲٫۶۱	۱۲٫۹
Na_2O	۰٫۲۰	۰٫۵۵	۰٫۲۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۱۷	۰٫۰۶	۰٫۹۲	۰٫۹۷
K_2O	۰٫۰۲	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۲۰	۰٫۳۳
NiO	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Total	۱۰۰٫۸	۹۹٫۵۷	۹۸٫۵۷	۱۰۲٫۰۰	۱۰۲	۱۰۳٫۵۷	۹۹٫۴۶	۹۹٫۷۷	۹۸٫۸۱	۹۸٫۹
بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن										
Si	۷٫۵۰	۷٫۵۳	۷٫۷۰	۷٫۴۰	۷٫۵۰	۷٫۴۰	۷٫۶۲	۷٫۵۳	۷٫۰۰	۶٫۹۱
Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۸	۰٫۱۲
Al^{iv}	۰٫۳۸	۰٫۴۷	۰٫۳۱	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۳۸	۰٫۵۴	۰٫۸۸	۱٫۱۲
Al^{vi}	۰٫۰۰	۰٫۵	۰٫۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۲۰	۰٫۳۷	۰٫۴۷
Cr	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{2+}	۰٫۰۰	۰٫۱۹	۰٫۰۸	۰٫۲۸	۰٫۳۹	۰٫۲۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe^{3+}	۰٫۸۱	۰٫۲۸	۰٫۴۲	۱٫۰۱	۰٫۷	۱٫۰۶	۰٫۵۳	۰٫۴۸	۰٫۲۹	۰٫۲۹
Mn	۰٫۰۳	۰٫۰۱۶	۰٫۰۲۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰	۰٫۰۱
Mg	۴٫۶۶	۳٫۹۶	۴٫۳۷	۶٫۱	۶٫۱	۶٫۱	۴٫۴	۴٫۳	۴٫۳	۴٫۱
Ca	۱٫۴۶	۱٫۷۲	۱٫۸۵	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۱٫۷۵	۱٫۸۲	۱٫۸۵	۱٫۸۸
Na	۰٫۰۵	۰٫۱۴	۱٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۲۵	۰٫۲۶
K	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۶
Ni	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
F	۰٫۰۴	۰٫۱۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۱۲	۰٫۰۰	۰٫۱۷
Cl	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
OH	۱٫۹۶	۱٫۸۴	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۲٫۰۰	۱٫۹۴	۱٫۸۸	۲٫۰۰	۱٫۸۳
Sum	۱۶٫۹۲	۱۶٫۸۸	۱۶٫۹۱	۱۷	۱۷	۱۷	۱۶٫۸۸	۱۶٫۹۵	۱۷٫۱۷	۱۷٫۲۲
Fe۳/(Fe۳+Alvi)	۱٫۰۰	۰٫۳۶	۰٫۸۳	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۰٫۸۳	۰٫۷	۰٫۴	۰٫۳۹
Mg/(Mg+Fe۲)	۱٫۰۰	۰٫۹۶	۰٫۹۸	۰٫۹۶	۰٫۹۴	۰٫۹۷	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰	۱٫۰۰

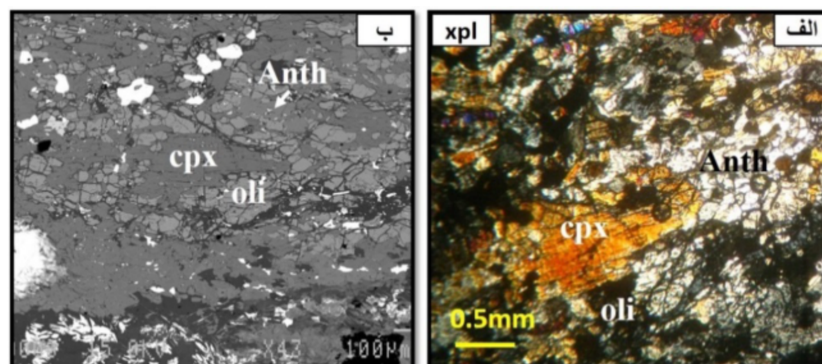
داده‌های شیمی کانی آمفیبول در تشخیص نوع و تعیین شرایط فیزیکی یعنی دماسنجی و فشارسنجی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این داده‌ها دو نوع آمفیبول آنتوفیلیت و ترمولیت را از جمله مهم‌ترین آمفیبول‌های تشکیل‌دهنده‌ی شبه‌پریدوتیت-های کمربند سبز مرکزی معرفی می‌کند. از تصاویر BSE (شکل۴) آنتوفیلیت‌ها بین باقیمانده‌های الیوین قرار گرفته‌اند که به نقش چشمگیر الیوین در واکنش شکل‌گیری این آمفیبول‌ها اشاره دارد.

در تصاویر میکروسکوپی و BSE، کانی ترمولیت نیز در کنار الیوین و پیروکسن دیده می‌شود (شکل۵).

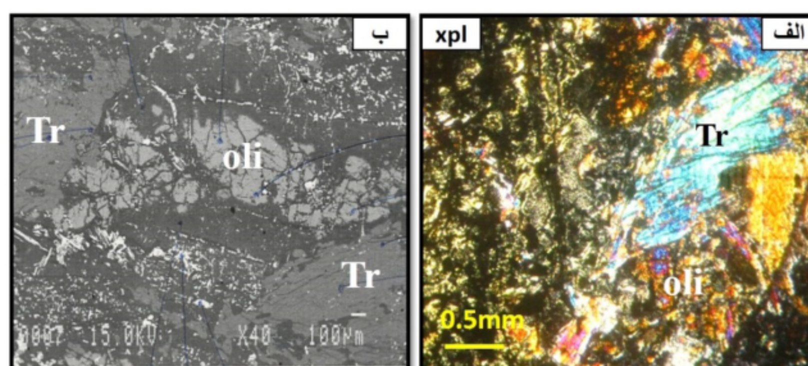
موقعیت ترکیبی این کانی‌ها در نمودار (شکل۶-الف) نشان داده شد. نمودار موقعیت آمفیبول‌ها از نوع منیزیم‌دار (آنتوفیلیت) و بیشتر کلسیک را نشان می‌دهد. همچنین بنابر نمودار (شکل۶ ب) نوع ترمولیت، هورنبلند ترمولیتی و هورنبلند منیزیم‌دار مهم‌ترین آمفیبول در سنگ‌های شبه‌پریدوتیت هستند. فرمول ساختاری آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌های همبافت دگرگون ده‌سلم که بر پایه‌ی ۲۳ اتم اکسیژن در هر واحد فرمولی که برای انواع مختلف آمفیبول‌ها محاسبه شد در جدول۲ آورده شده‌است.

آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌ها

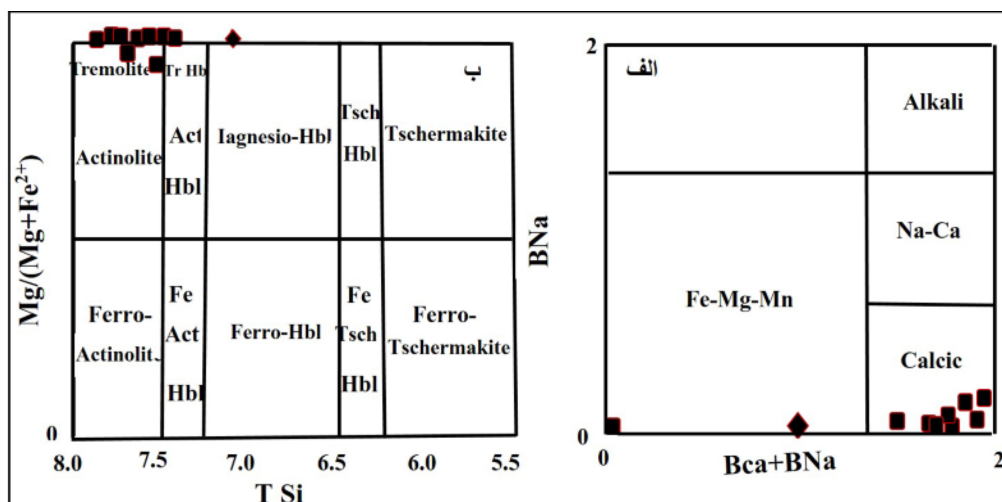
براساس بررسی‌های کانی شناسی، آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های همبافت دگرگون ده‌سلم، به صورت منشوری و نیز به صورت سمت‌یافته در برگه‌های شیستوزیتی و نواری با رنگ‌های سبز، سبز مایل به قهوه‌ای و قهوه‌ای حضور دارند. آمفیبول‌های گلوگاه به صورت منشوری با رنگ سبز-آبی وگاهی به صورت جهت‌یافته و بیشتر به صورت توزیع ناجهت‌دار ولی در سطح برگه‌ی شیستوزیته تا رخ اسلیتی نیز حضور دارند و حالت بافت سوزنی را به نمایش می‌گذارند به‌طوری که می‌توان از واژه‌ی شیست سبز برای سنگ آن‌ها استفاده کرد. ۶ نقطه از بلورهای آمفیبول موجود در دو سنگ شبه‌بازی منطقه ده‌سلم و گلوگاه (شکل ۷) مورد بررسی ریز پردازش الکترونی قرار گرفتند که نتایج آن‌ها در جدول ۳ آورده شده‌اند.



شکل۴ الف) تصویر میکروسکوپی آنتوفیلیت (Anth) در نمونه‌ی HB14 موجود در شبه‌پریدوتیت‌های کمربند سبز مرکزی همبافت دگرگونی ده-سلم؛ ب) تصویر BSE از آنتوفیلیت بررسی شده‌ی نمونه‌ی HB14 با مقیاس m100.



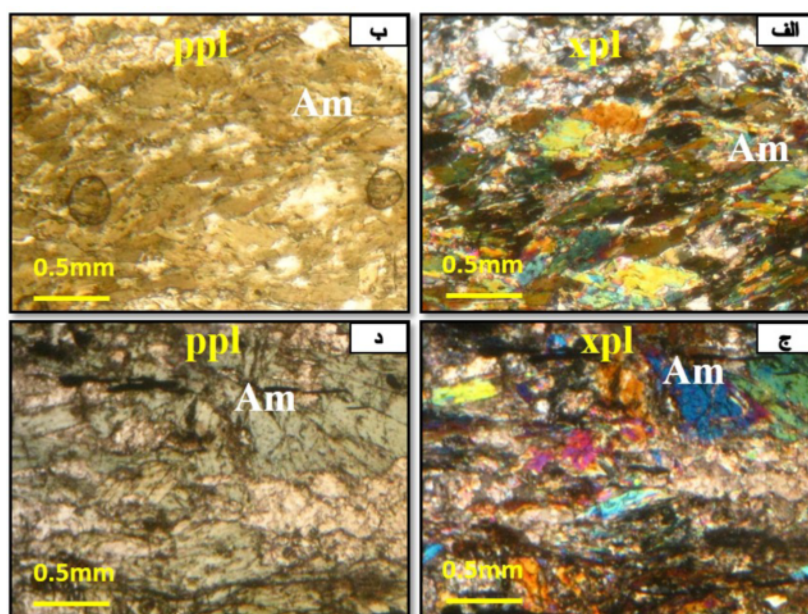
شکل۵ الف) تصویر میکروسکوپی ترمولیت (Tr) در نمونه‌ی 8-1N موجود در شبه‌پریدوتیت‌های کمربند سبز مرکزی همبافت دگرگون ده‌سلم؛ ب) تصویر BSE از ترمولیت بررسی شده در نمونه‌ی 8-1N با مقیاس m100.



شکل۶ نمودارهای رده بندی آمفیبول‌ها بر پایه‌ی ترکیب شیمیایی آن‌ها [۲۱]، الف) موقعیت آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌های همبافت دگرگون ده‌سلم، بیشتر نمونه‌ها در گستره‌ی کلسیک قرار دارند؛ ب)موقعیت آمفیبول‌های کلسیک مورد بررسی، نمونه‌ها در گستره‌ی ترمولیت، هورنبلند ترمولیتی و هورنبلند منیزیم‌دار قرار دارند.(■ = متاپریدوتیت اسپینل‌دار، ♦= متاپریدوتیت تالک‌دار).

جدول۲ فرمول ساختاری آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌های همبافت دگرگون ده‌سلم

Sample	نام کانی	فرمول ساختمانی آمفیبول ها بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن
HB14	آنتوفیلیت	$(Mg_{6.1}Fe^{2+}{}_{0.4}Mn_{0.02}Ca_{0.02})(Al_{0.2}Si_{7.5})O_{22}(OH)_{1.99}$
8-1N	هورنبلند منیزیم‌دار	$(K_{0.03}Na_{0.2})(Ca_{1.8})(Mg_{4.04}Fe^{3+}{}_{0.6}Al_{0.3})(Al_{0.9}Si_{7.1})O_{22}(OH_2)$
HB14	هورنبلند ترمولیتی	$(K_{0.01}Na_{0.2})(Ca_{1.8})(Mg_{4.1}Fe^{3+}{}_{0.5}Al_{0.4})(Al_{0.8}Si_{7.2})O_{22}(OH_{1.98}F_{0.02})$
HB12	ترمولیت	$(Na_{0.1}\ Ca_{1.7})(Mg_{3.96}Fe^{2+}{}_{0.2}Fe^{3+}{}_{0.3}Al_{0.5})(Al_{0.5}Si_{7.5})O_{22}(OH_{1.9}F_{0.1})$
7-2D	هورنبلند منیزیم‌دار	$(K_{0.04}Na_{0.3})(Ca_{1.9})(Mg_{4.3}Fe^{3+}{}_{0.3}Al_{0.4})(AL_{0.9}Si_{7.1})O_{22}(OH_{1.997}F_{0.003})$



شکل۷ تصویر بلور آمفیبول (Am)؛ الف و ب) در متابازیت‌های ده‌سلم در نور قطبیده متقاطع (xpl) و طبیعی (ppl)؛ ج و د) در شبه‌بازی‌های گلوگاه در نور قطبیده متقاطع (xpl) و طبیعی(ppl)، بزرگنمایی ۴۰ برابر.

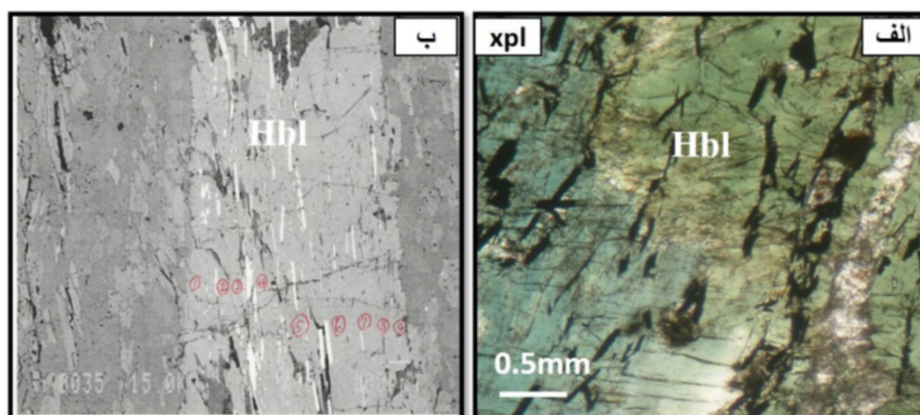
جدول۳ بررسی ریزپردازشی الکترونی آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های همبافت دگرگون ده سلم و گلوگاه بـر حـسب درصـد وزنـی (wt%) و فرمول ساختاری آن‌ها.

لیتولوژی	کانی آمفیبول در متابازیت					
نمونه	۱Sb	۱Sb	۱Sb	۳B	۳B	۳B
آنالیز	۱	۳	۸	۲	۸	۱۲
SiO_2	۴۳٫۲۰	۴۴٫۵۳	۴۴٫۷۵	۴۴٫۲۴	۴۵٫۰۶	۴۱٫۸۵
TiO_2	۱٫۴۸	۰٫۹۵	۱٫۲۰	۰٫۳۹	۰٫۲۶	۰٫۲۴
Al_2O_3	۱۳٫۷۵	۱۲٫۴۹	۱۳٫۲۴	۱۴٫۹۵	۱۳٫۸۱	۱۲٫۴۴
Cr_2O_3	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۱۳
FeO	۱۵٫۹۶	۱۲٫۶۹	۱۵٫۵۱	۱۴٫۹۸	۱۵٫۰۸	۱۵٫۴۰
MnO	۰٫۳۰	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۰۹	۰٫۰۲	۰٫۰۶
MgO	۱۰٫۶۲	۱۱٫۱۹	۱۰٫۷۸	۱۰٫۴۴	۱۱٫۱۲	۱۴٫۶۳
CaO	۱۲٫۱۱	۱۲٫۰۴	۱۲٫۲۵	۱۱٫۵۱	۱۱٫۴۷	۷٫۸۵
Na_2O	۲٫۱۱	۱٫۷۴	۱٫۶۰	۱٫۵۹	۱٫۴۲	۰٫۶۳
K_2O	۱٫۱۰	۱٫۰۱	۱٫۱۶	۰٫۲۴	۰٫۲۰	۰٫۱
NiO	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۰۳	۰٫۰۸
Total	۱۰۰٫۸۶	۹۶٫۹۱	۱۰۰٫۸۶	۹۸٫۷۷	۹۸٫۷۳	۹۳٫۴۱
بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن						
Si	۶٫۲۳	۶٫۳۴	۶٫۴۲	۶٫۳۵	۶٫۴۴	۶٫۱۵
Ti	۰٫۱۶	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳
Al^{iv}	۱٫۷۷	۱٫۶۶	۱٫۵۸	۱٫۶۵	۱٫۵۶	۱٫۸۵
Al vi	۰٫۵۷	۲٫۳۵	۰٫۶۶	۰٫۸۸	۰٫۷۷	۰٫۳۰
Cr	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲
Fe^{2+}	۱٫۶۳	۰٫۲	۱٫۶۳	۱٫۱۶	۱٫۰۴	۰٫۰۰
Mn	۰٫۰۴	۰۰٫۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Mg	۲٫۲۸	۰٫۲۳	۲٫۳۱	۲٫۲۳	۲٫۳۷	۳٫۲۰
Ca	۱٫۸۷	۳٫۶۶	۱٫۸۸	۱٫۷۷	۱٫۷۶	۱٫۲۴
Na	۰٫۵۹	۰٫۰۱	۰٫۴۵	۰٫۴۴	۰٫۳۹	۰٫۱۸
K	۰٫۲	۰٫۰۰	۰٫۲۱	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۳۸
Ni	۰٫۰۱	۰۰٫۰	۰۰٫۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Sum	۱۵٫۳۷	۱۴٫۶۶	۱۵٫۳۱	۱۴٫۶۱	۱۴٫۴۳	۱۳٫۳۷
$Fe_3/(Fe_3+Alvi)$	۰٫۳۴	۰۰٫۰	۰٫۲۶	۰٫۴۲	۰٫۵۰	۰٫۸۶
$Mg/(Mg+Fe_2)$	۰٫۶۷	۰٫۵۳	۰٫۵۹	۰٫۶۶	۰٫۷۰	۱٫۰۰

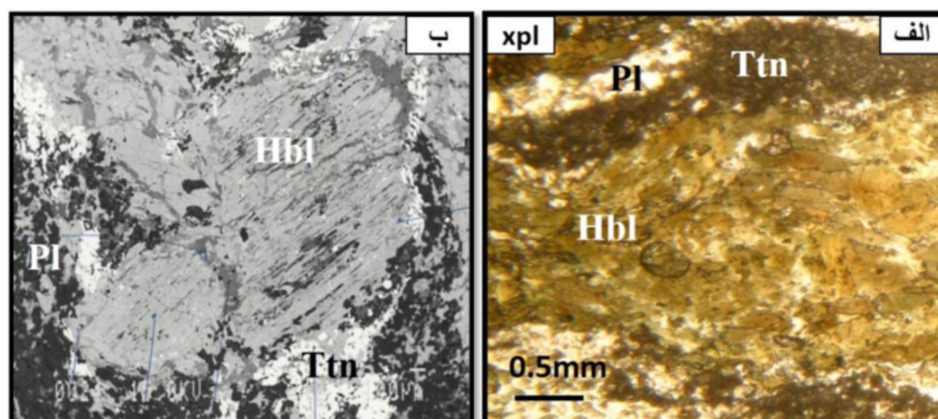
در شکل ۸ و شکل ۹ می‌توان تفـاوت آمفیبـول‌هـای ده‌سـلم و گلوگاه را به رنگ و شکل ظاهری آنها در تصاویر میکروسکوپی و تصاویر BSE آن‌ها مشاهده کرد.

فرمول ساختاری این کانی بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن همراه با جزئیات محاسبه شده‌است (جدول۴). با بررسی داده‌های حاصل از آنالیز نقطه‌ای، این کانی در منطقه‌ی ده‌سلم و گلوگاه از نظر ترکیب شیمیایی نیز تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. آمفیبول‌ها در هر دو منطقه از نوع کلسیم‌دار هستند (شکل۱۰) و آمفیبول‌های دگرگون ده‌سلم بیشتر از نوع پارگازیت و آمفیبول‌های گلوگاه از نوع چرماکیت هستند.

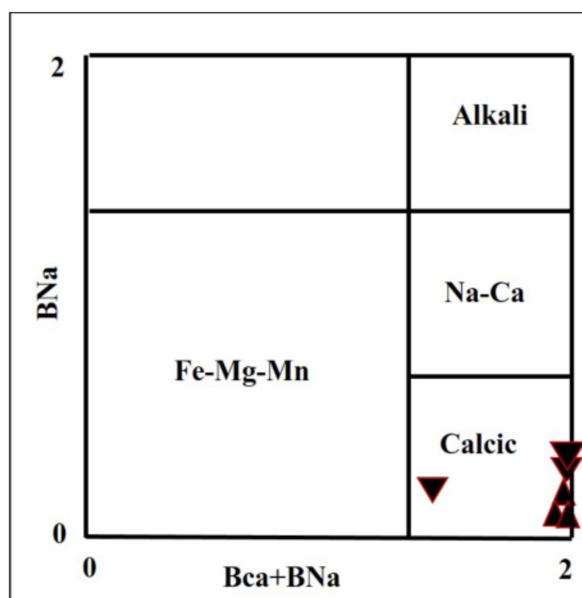
در نمودار Al^{IV} نسبت به $[17Al^{VI}]$ نـسبت Al^{VI}/Al^{IV} در بلورهای آمفیبول مورد بررسی بین صـفر تـا ۳٫۱۲ بـوده و ایـن نسبت در تمامی آمفیبول‌های موجود در شبه‌بـازی‌هـا و شـبه‌-پریدوتیت‌ها کمتر از ۳٫۳ است، بنابراین در قلمرو آمفیبول‌هـای دگرگون قرار می‌گیرند (شکل۱۱).



شکل۸ الف) تصویر میکروسکوپی هورنبلند (Hbl) سبز-آبی گلوگاه در نمونه‌ی B3، ب) تصویر BSE هورنبلند آنالیز شده در نمونه‌ی B3 با مقیاس 100µm.



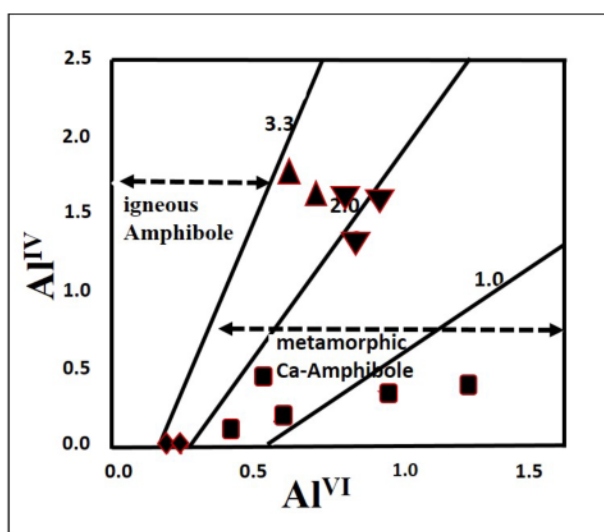
شکل۹ الف) تصویر میکروسکوپی هورنبلند (Hbl) سبز مایل به قهوه‌ای، تیتانیت (Ti) و پلاژیوکلاز از شبه‌بازی‌های ده‌سلم در نمونه‌ی Sb1، ب) تصویر BSE هورنبلند، تیتانیت و پلاژیوکلاز آنالیز شده در نمونه‌ی Sb1 با مقیاس 100. µm



شکل۱۰ نمودار رده بندی ترکیب آمفیبول‌ها [۲۱] و موقعیت آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های که از نوع کلسیک هستند. B موقعیت قرار گیری یون‌های سدیم و کلسیم است. (▼= در شبه‌بازی گلوگاه و ▲= در شبه‌بازی ده‌سلم).

جدول۴ فرمول ساختاری انواع مختلف آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های گلوگاه و ده‌سلم.

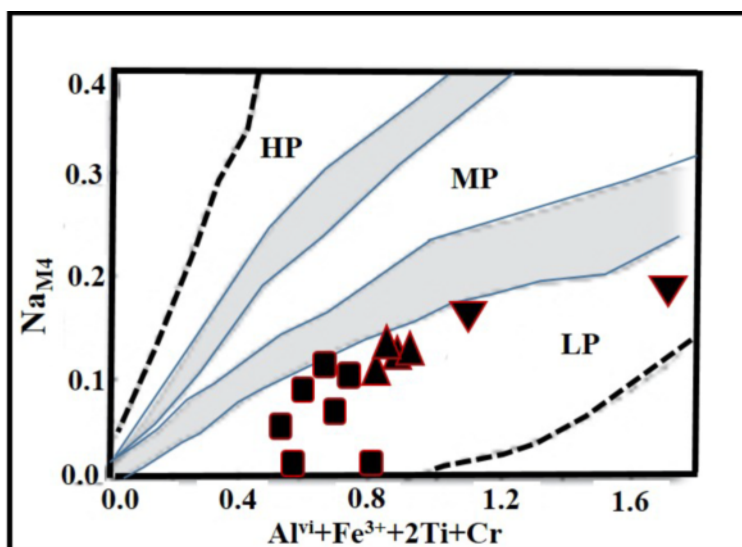
Sample	نام کانی	فرمول ساختمانی بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن $AB_2{}^{VI}C_5{}^{IV}T_8O^{22}(OH)_2$
Sb1-1	ferroan pargasite	$(K_{0.2}Na_{0.6}Ca_{1.9})(Mg_{2.3}Fe^{2+}{}_{1.6}Mn_{0.04})(Fe^{3+}{}_{0.3}Ti_{0\text{-}.2}Al_{0.6})(Al_2Si_6)O_{22}(OH_{1.8}F_{0.2}$
Sb1-3	Ferroan pargasitic hornblende	$(K_{0.2}Na_{0.5}Ca_{19})(Mg_{2.4}Fe^{2+}{}_{1.5Mn0.03})(Fe^{3+}{}_{0.3}Al_{0.6})(Al_{1.6}Si_{6.4})O_{22}(OH_{1.9})$
Sb1-8	Ferroan pargasitic hornblende	$K_{0.2}Na_{0.5}Ca_{1.9})(Mg_{2.3}Fe^{2+}{}_{1.6}Mn_{0.03})(Fe^{3+}{}_{0.2}Al_{0.7}Ti_{0.1})(Al_{1\cdot6}Si_{6.4})O_{22}(OH_{1.8}F_{0.2})$
Glg-2	tschermakitic hornblende	$(K_{0.04}Na_{0.4}Ca_{1.8})(Mg_{2.2}Fe_{1.2}Mn_{0.01})(Al_{0.9})(Al_{1.7}Si_{6.4})O_{22}(OH_{1.97}F_{0.03})$
Glg-8	ferrian-tschermakitic hornblende	$(K_{0.04}Na_{0.4}Ca_{1.8})(Mg_{2.4}Fe^{2+}{}_{1.04})(Fe^{3+}{}_{0.8}Al_{0.8})(Al_{1.6}Si_{6.4})O_{22}(OH_{1.9}F_{0.08})$
Glg-15	magnesio-hornblende	$(Na_{0.4}Ca_{1.8})(Mg_{2.4}Fe^{2+}{}_{1.4})(Fe^{3+}{}_{0.4}Al_{0.8})(Al_{1.3}Si_{6.7})O_{22}(OH_{1.9}F_{0.1})$



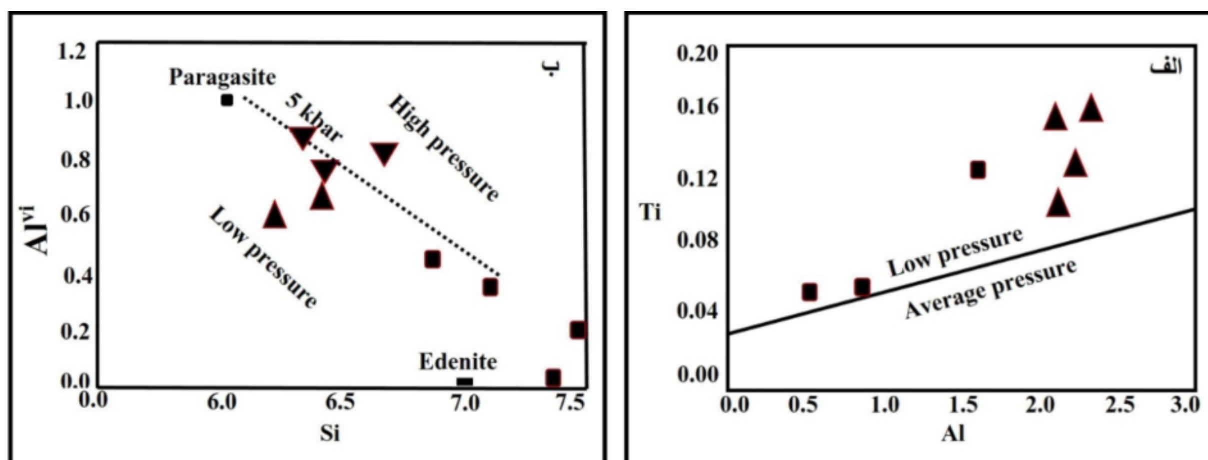
شکل۱۱ نمودار جدایش آمفیبول‌های دگرگون از آمفیبول‌های ماگمایی [۲۲] ترسیم بلورهای آمفیبول موجود در شبه‌بازی و شبه‌پریدوتیت‌های همبافت دگرگونی ده‌سلم روی نمودار Al^{VI}/Al^{IV}؛ تمامی نمونه‌ها در گستره‌ی آمفیبول‌های دگرگون قرار گرفته‌اند، (◆= آنتوفیلیت، ■ = ترمولیت در شبه‌پریدوتیت‌ها و ▲،▼= شبه‌بازی‌ها).

تعیین فشار با ترکیب آمفیبول

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای بررسی‌های فشار، استفاده از آمفیبول است. توزیع عناصر Al و NaB در کانی آمفیبول تابع فشار بوده و بنابراین از این عنصر می‌توان برای تعیین فشار دگرگونی استفاده کرد [۲۳-۳۰]. با توجه به نمودار ۱۲ نسبت NaB(NaM4) در برابر $Al^{vi}+Fe^{3+}+2Ti+Cr$ [۳۰] نشان دهنده‌ی فشار پایین آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های ده-سلم و گلوگاه و شبه‌پریدوتیت‌های ده‌سلم است. همچنین بر اساس مقدار Ti و Al کانی آمفیبول، می‌توان گستره‌ی فشار تشکیل این کانی‌را تعیین کرد [۳۱] که در نمودار مقادیر Ti در برابر Al کانی آمفیبول، تمامی آمفیبول‌های موجود در شبه-پریدوتیت و شبه‌بازی‌های ده‌سلم در گستره‌ی فشار پایین قرار گرفته (شکل۱۳ الف). نسبت Al^{vi}/Si نیز در آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های منطقه‌ی ده‌سلم و گلوگاه پایین است و تمامی آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌ها و شبه‌بازی‌های ده‌سلم و گلوگاه در اطراف خط ۵ کیلوبار نمودار [۳۲] قرار گرفته‌اند که نشان دهنده‌ی فشارهای پایین‌اند (شکل۱۳ ب). تاکنون مدرج کردن مختلفی برای فشارسنج Al در هورنبلند ارائه شده‌اند [۱۶،۲۳،۲۴،۲۶]. برای تعیین فشار شبه‌بازی‌های منطقه‌ی مورد بررسی از روش [۲۴] استفاده شده است. بر این اساس میانگین فشار به دست آمده برای شبه‌بازی‌های ده‌سلم ۵/۸۶Kb و برای شبه‌بازی‌های گلوگاه ۶/۲۴Kb محاسبه شده است.



شکل۱۲ نمودار مقادیر Na_{M4} در برابر $Al^{vi}+Fe^{3+}+2Ti+Cr$ کانی آمفیبول، در این نمـودار آمفیبـول‌هـای منطقـه‌ی مـورد بررسـی (■ = در شـبه-پریدوتیت و▲= در شبه‌بازی) در گستره‌ی فشار پایین قرار گرفته‌اند.

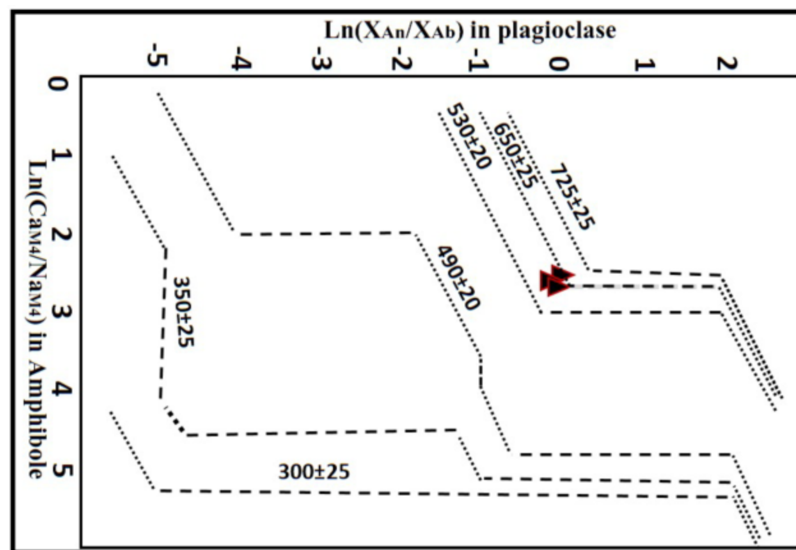


شکل۱۳ الف) نمودار Ti در برابر Al کانی آمفیبول، جدا کننده‌ی گستره‌هاي فشار پایین و فـشار متوسـط بـر اسـاس ترکیـب آمفیبـول‌هـا [۳۱] آمفیبول‌های مورد بررسی، در گستره‌ی فشار پایین قرار گرفته‌اند؛ ب) نمودار Al^{vi} در برابر Si ترکیب کانی آمفیبول برای تعیین گـستره‌ی تقریبـی فشار آمفیبول در شبه‌پریدوتیت و شبه‌بازی‌های ده‌سلم و گلوگاه (برگرفته از [۳۲] (علائم مطابق شکل۱۱).

تعیین دما با ترکیب آمفیبول

مقدار Ti در کانی‌های سیلیکاتی به ویژه آمفیبول‌هـا، میکاهـا و پیروکسن‌ها تابع دماسـت. افـزایش مقـدار Ti موجـود در کـانی آمفیبول بیشتر به افزایش دمـای دگرگـونی وابـسته اسـت و در نتیجه درجه‌ی دگرگـونی رو بـه افـزایش اسـت [۲۴، ۳۳-۳۵]. برای محاسبه‌ی دمای دگرگونی در شبه‌بازی‌های منطقه‌ی مورد بررسی، با استفاده از آمفیبول، از دماسنج‌های مختلفی همچـون مقدار Ti در ترکیب کانی آمفیبـول [۱۵] و از روش دماسـنجی [۳۶]. بـرای مقایـسه بـا روش یـاد شـده اسـتفاده شـده اسـت.

همچنین از دماسنج تجربـی آمفیبـول- پلاژیـوکلاز [۳۷] بـرای تعیین دمای تقریبی متابازی‌ها استفاده شده است. نتایج حاصل از استفاده‌ی دماسنج تجربی [۳۶،۱۵] به طور میانگین در شبه-بازی‌های ده‌سلم ۷۰۷/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و در متابازیت‌هـای گلوگاه ۵۲۷/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد است. دمای بـه دسـت آمـده برای متابازیـت‌هـای منطقـه‌ی ده‌سـلم بـا اسـتفاده از دماسـنج تجربی آمفیبول-پلاژیوکلاز [۳۷] تقریبـاً بـین ۲۰±۵۳۰ درجـه سانتی‌گراد و ۲۵±۶۵۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل۱۴).



شکل۱۴ نمودار Ln(XAn/XAb) در پلاژیوکلازها در برابر Ln(CaB/NaB) در آمفیبول‌ها برای محاسبه مقدار دمای دگرگونی [۳۷].

شکل گیری‌های زمین ساختی

بررسی دنباله‌ی سنگ‌های دگرگون از غرب شرق و به سمت محور مرکزی همبافت دگرگون ده‌سلم از دیرباز حکایت از افزایش درجه‌ی دگرگونی داشته است [۴]، ولی چگونگی این شکل گیری و ساز و کار آن چندان شناخته شده نبوده است. بررسی آمفیبول‌ها در سنگ‌های این مجموعه این امکان را در اختیار ما قرار داده است که سنگ‌های مورد نظر علی‌رغم افزایش نسبی دمایشان دستخوش کاهش فشار می‌شوند. بالا آمدن همبافت ده‌سلم در بخش مرکزی با حضور توامان در کنار خاستگاه گرما، خود یعنی نفوذی‌های گرانیتی منطقی‌ترین تفسیری است که می‌توان در مورد شکل گیری این مجموعه داشت. حجم زیاد و دنباله‌ی ضخیم سنگ‌های رسوبی روی یکدیگر شرایطی شبیه به دگرگونی ناحیه‌ای فشار متوسط با حضور کانی‌های منطقه‌های گارنت- استارولیت [۹] را فراهم آورده است. با حرکت به سمت شرق، در محور همبافت، حرکت توده‌های گرانیتی به سمت بالا و عملکرد توامان گسل‌هایی نظیر گسل کهور سبب شد تا همبافت دگرگونی به سمت بالا صعود کند و بخش شرقی همبافت ده‌سلم که در تماس مستقیم با نفوذی‌های اسیدی و پهنه‌های میگماتیت‌زایی ژوراسیک فوقانی بوده، بالا آمدگی بیشتری نسبت به بخش‌های سردتر غربی داشته باشد.

برداشت

۱. با استفاده از بررسی‌های کانی‌شناسی و ریزپردازش الکترونی روی سنگ‌های شبه‌پریدوتیت و شبه‌بازی مورد بررسی، مهم‌ترین آمفیبول‌های موجود در شبه‌پریدوتیت‌های همبافت دگرگونی ده‌سلم از نوع آنتوفیلیت و ترمولیت و در شبه‌بازی‌های آن از نوع پارگازیت و آمفیبول‌های موجود در شبه‌بازی‌های گلوگاه از نوع چرماکیت هستند و تمامی آنها در اثر دگرگونی به وجود آمده‌اند.

۲. بر اساس بررسی‌های دما – فشارسنجی کانی آمفیبول، میانگین دما و فشار به دست آمده برای شبه‌بازیت‌های گلوگاه به ترتیب برابر با ۵۲۷٫۸ درجه سانتی‌گراد و ۶٫۲۴ کیلوبار و برای شبه‌بازی‌های ده‌سلم ۷۰۷٫۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۵٫۸۶ کیلوبار است.

۳. فرمول‌ها و نمودارهای حاصل از داده‌های بررسی نقطه‌ای نشان می‌دهند که شرایط در شبه‌بازی‌ها و شبه‌پریدوتیت‌ها در دمای حرارت بالا و فشار کم است در حالی که دمای دگرگونی در شبه‌بازیت‌های همبافت دگرگون ده‌سلم نسبت به شبه‌بازی-های گلوگاه بیشتر است. در نتیجه بخش شرقی همبافت ده‌سلم

که در تماس مستقیم با نفوذی‌های اسیدی و پهنه‌های میگماتیت‌زایی ژوراسیک فوقانی بوده، بالا آمدگی بیشتری نسبت به بخش‌های سردتر غربی داشته است.

۴. بالا آمدگی همبافت دگرگون ده‌سلم ممکن است به سبب صعود پلوتون عظیم شاه‌کوه و فعالیت مرتبط گسل‌های شمالی-جنوبی منطقه مثل گسل کهور باشد.

قدردانی

از خانم دکتر اعظم زاهدی و پروفسور Kuzuo Nakashima از دانشگاه یاماگاتا ژاپن که در تهیه و انجام آنالیزهای نقطه‌ای کمک در خورتوجهی به تیم پژوهشی ما داشته‌اند تقدیر و تشکر می‌شود.

مراجع

[۱] اکرمی م. ع.، نادری میقان ن.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ده‌سلم"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).

[۲] نادری میقان ن.، اکرمی م. ع.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چاه‌داشی"*، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳).

[۳] اسماعیلی د.، ولی‌زاده م.و.، حسن‌زاده ج.، بلون ا.، *"تنوع سنگ‌شناختی توده گرانیتوئیدی شاه‌کوه و تعیین سن رادیومتری آن به روش پتاسیم-آرگن"*، فصلنامه علوم زمین، سال نهم صفحه ۴۲-۴۱ (۱۳۸۰).

[4] Mahmoodi S., *"Magmatic and metamorphic history of the Dehsalm metamorphic complex Eastern Lut block, (Eastern Iran), from U-Pb geochronology"*, International Jornal of earth science (2009).

[۵] یبلوی م.، *"معرفی زون‌های برشی منطقه (شرق ایران) پایان‌نامه کارشناسی ارشد"*، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۸۸).

[۶] محمودی ش.، "پترولوژی سنگ‌های دگرگونی کمپلکس ده‌سلم"، پایان نامه کارشناسی ارشد ،دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۸۲).

[۷] عارف نژاد م.، *"مطالعه دگرشکلی سنگ‌های دگرگونی منطقه غرب چاه‌داشی (کمپلکس ده‌سلم)"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۸۸).

[۸] مختاری ن.، *"ژئوشیمی پیکره‌های گرانیتوئیدی شرق پهنه لوت، دریافتی از ماهیت ژئوشیمیایی پوسته شرق ایران"*، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۹۰).

[۹] بهرام نژاد الف.، *"مطالعه دگرگونی کمپلکس ده‌سلم با نگاهی ویژه به ژئوشیمی سنگ‌های گارنت‌استاورولیت‌دار آن، شرق باوک لوت"*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۹۳).

[۱۰] ناصری اسفندقه ا.، *"پترولوژی سنگ‌های مافیک و اولترامافیک در کمپلکس دگرگونی ده‌سلم، شرق بلوک لوت"*، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (۱۳۹۳).

[۱۱] ناصری اسفندقه ا.، باقری س.، بیابانگرد ح.، *"نخستین گزارش حضور سنگ‌های اولترامافیک دگرگون شده در کمپلکس دگرگونی ده‌سلم، شرق بلوک لوت و ماهیت متابازیت‌های همراه"*، مجموعه مقالات هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس تهران (۱۳۹۳).

[12] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"An Introduction to the Rock-forming Minerals"*. 2nd ed. Longman Scientific and Technical; New York: Wiley. 696pp (1992).

[13] Holland T.J.B., Blundy J.D., *"Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole plagioclase thermometry"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 116 (1994) 433-447.

[14] Moazzen M., Droop G.T.R., *"Application of mineral thermometers and barometers to granitoid igneous rocks: The Etive Complex"*, W Scotland. Mineralogy and Petrology, 83 (2005) 27-53.

[15] Otten M.T., *"The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerite"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 82 (1984) 189-199.

amphibole-plagioclase geothermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology,111 (1992) 273-278.

[26] Schmidt M.W., *"Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al in hornblende barometer",* Contributions to Mineralogy and Petrology, 110 (1992) 304-310.

[27] Spear F.S., *"Amphibole- plagioclase equilibrium: An empirical model for the relation albite+ tremolite= edenite+ 4 quartz"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 77 (1981) 355-364.

[28] Thomas W.M., Ernst W.G., *"The aluminum content of hornblende in Calc-alkaline granitic rocks: A mineralogic barometer calibrated experimentally to 12 Kbars. In R.J. Spencer and I-M. Chou, Eds., Fluid-mineral interactions: A tribute to H. P. Eugster"*, Geochemical Society Special Publication, 2 (1990) 59-63.

[29] Brown E.H., *"The crosstie content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism"*, Journal of Petrology, 18 (1977) 376-416.

[30] Laird J., Lanphere A., Albee A.L., *"Distribution of Ordovician and Devonian metamorphism in mafic and pelitic schists from Vermont"*, American Journal of Science, 284 (1984) 376-416.

[31] Hynes A., *"A comparison of amphiboles from medium- and low- pressure metabasites"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 81 (1982) 119-125.

[32] Rasse P., *"Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 45 (1974) 231-236.

[33] Hutchison C.S., *"Ophiolite metamorphism in Northeast Borneo"*, Lithos, 11 (1978) 195-208.

[34] Robinson P., Spear F.S., Schumacher J.C., Laird J., Klein C., Evans B.W., Doolan B.L., *"Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurrences and theory",* In Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 98 (1982) 1-227.

[16] Hammarstrom J.M., Zen E., *"Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer"*, American Mineralogist, 71 (1986) 1297-1331.

[17] Blundy J. D., Holland T. J. B, *"Calcic amphibole equilibrium and a new amphibole-plagioclase geothermometer"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 104 (1990) 208-224.

[18] Barclay J., Carroll M. R., Rutherford M. J., Murphy M. D., Devine J. D., Gardner J., Sparks R. S.J, *"Experimental phase equilibrium constraints on pre-eruptive storage conditions of the Soufriere Hills magma",* Geophysical Research Letters 25 (1998) 2437-3440.

[19] Bucher K., Frey M., *"Petrogenesis of metamorphic rocks, NewYork- Berlin"*, Springer-Verlag (1994).

[20] Winkler HGF., *"Petrogenesis of metamorphic rocks"*, NewYork, Springer-Verlag (1976).

[21] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., *"Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association"*, Commission on new minerals and mineral names. American Mineralogist, 82 (1997) 1019-1037.

[22] Fleet M.E., Barnett R.L., *"AlIV/AlVI partitioning in calciferous amphiboles from the Frood mine, Sudbury"*, Ontario. Canadian Mineralogist, 16 (1978) 527-532.

[23] Hollister L.S., Grissom G.E., Peters E.K., Stowell H.H., Sisson V. R., *"Confirmation of the empirical correlation of AI in hornblende with pressure of solidification of Calc-alkaline plutons"*, American Mineralogist, 72 (1987) 231-239.

[24] Johnson M.C., Rutherford M.J., *"Experimentally calibration of the aluminum–in–hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks"*, Geology, 17 (1989) 837-841.

[25] Poli S., Schmidt M.W., *"A comment on "Calcic amphibole equilibrium and a new*

[35] Spear F.S., *"Metamorphic phase equilibrium and pressure- temperature- time path",* Mineralogical Society of America.Monograph. Washington. D.C. (1993).

[36] Féménias O., Contribution à 1 étude du magmatisme tardi- à post-orogénique.de sa source à sa mise en place en sub-surface: Exemples régionaux de lessaim de lons du Motru (Roumanie) et ducomplexe lité profond sous Beaunit (France). Ph.D. Thesis, Université Libre de Bruxelles, Belgium.

[37] Spear F.S., *"NaSi = CaAl exchange equilibrium between plagioclase and amphibole: An empirical model"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 72, 33-41.